



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 197 39 961 C 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 L 7/08
G 01 L 9/12
G 01 M 3/26
G 01 M 3/32
G 01 L 9/00

⑳ Aktenzeichen: 197 39 961.4-52
㉑ Anmeldetag: 11. 9. 97
㉒ Offenlegungstag: -
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15. 4. 99

DE 197 39 961 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑬ Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

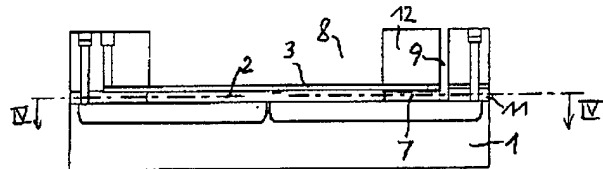
⑭ Erfinder:
Scheiter, Thomas, Dr., 82041 Oberhaching, DE;
Kapels, Hergen, 85579 Neubiberg, DE

⑮ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 42 23 455 A1
DE 41 14 268 A1
US 33 99 572

⑯ Verfahren zur Bestimmung des Gasdruckes in einem Hohlraum mit verformbarer Wandung eines
Halbleiterbauelementes

⑰ Verfahren zum Bestimmen des Gasdruckes in einem Hohlraum eines mikromechanischen Sensors, bei dem mehrere Bauelemente auf demselben Wafer hergestellt werden, der Hohlraum eines Bauelementes geöffnet wird, die Resonanzfrequenzen der Membran für das Bauelement mit geschlossenem und mit geöffnetem Hohlraum in Abhängigkeit von dem äußeren Luftdruck bestimmt werden und der Druck bestimmt wird, bei dem sich dieselbe Resonanzfrequenz ergibt. Um den Hohlraum zu öffnen, kann eine Öffnung (9) in einem seitlichen kanalartigen Fortsatz (7) des Hohlraumes (2) unter der beweglichen Membran (3) geätzt werden.



DE 197 39 961 C 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, mit dem man den Gasdruck im Inneren eines verschlossenen Hohlraumes eines Halbleiterbauelementes bestimmen kann.

Bei mikromechanischen Halbleiterbauelementen, insbesondere bei Drucksensoren, werden von Halbleitermaterial umschlossene Hohlräume hergestellt, die nach außen durch eine verformbare oder bewegliche Membran begrenzt sind. Um die Auslenkung der Membran für die Messung des äußeren Luftdruckes verwenden zu können, ist es erforderlich, den Gasdruck im Inneren des von der Membran verschlossenen Hohlraumes zu messen. Bisher konnte nur die Dichtigkeit mikromechanischer Materialien z. B. durch einen Helium-Leck-Test nachgewiesen werden, nicht aber die Dichtigkeit kompletter Strukturen. Bei dem Test wird eine zu untersuchende Schicht auf der Vorderseite eines Substrates abgeschieden. Anschließend wird von der Rückseite eine Öffnung mittels chemischer Ätzung bis zu der zu untersuchenden Schicht hergestellt. Auf diese Weise wird die Schicht von beiden Seiten einem äußeren Druck zugänglich. Das Meßobjekt wird auf einen Vakuumträger aufgebracht und von der Vorderseite mit Helium umspült. Auf der Rückseite wird eine Vakuumpumpe mit Heliumdetektor installiert und damit nachgewiesen, ob das Material Helium durchläßt. Für die Herstellung mikromechanischer Bauelemente ist dieses Verfahren nur bedingt geeignet, weil die Auflösung bei der Messung zu gering ist und keine fertiggestellten Strukturen auf Dichtigkeit untersucht werden können.

In der DE 41 14 268 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung der Größe von Parametern, welche die Frequenz von Eigenschwingungen von Mikrostrukturen ändern, beschrieben. Dieses Verfahren ist auch geeignet, bei mikromechanischen Drucksensoren angewendet zu werden. Eine Druckdifferenz zwischen dem Hohlraum des Sensors und dem umgebenden Medium führt zu einer Erhöhung der mechanischen Spannung in der Membran und somit zu einer Verschiebung der Resonanzfrequenz, die ein Maß für den Druck ist. Es ist ferner angegeben, neben einem abgeschlossenen Hohlraum auch solche Hohlräume vorzusehen, die aufgrund anderer geometrischer Abmessungen andere Resonanzfrequenzen liefern und über Öffnungen in der Membran direkt mit dem die Strukturen umgebenden Medium in Verbindung stehen. Aus der durch diesen Hohlraum hervorgerufenen Resonanzfrequenz kann dann eine Korrektur berechnet werden, die eine genauere Bestimmung des mit dem eigentlichen Sensor gemessenen Druckes ermöglicht.

In der DE 42 23 455 A1 sind ein Halbleiterdrucksensor und ein zugehöriges Herstellungsverfahren beschrieben, bei denen zwei Siliziumsubstrate mit einander verbunden werden, von denen das eine als Membran des Drucksensors über einer Aussparung des anderen Substrates fungiert. In dieser Membran sind Eichwiderstände hergestellt, mit denen eine durch eine äußere Druckänderung hervorgerufene Deformation der Membran in ein elektrisches Signal über eine Brückenschaltung umgewandelt werden kann.

In der US 3,399,572 ist ein Drucksensor beschrieben, bei dem zur Messung ein schwingfähiger Balken in einem nach außen abgedichteten und mit einer Einlaßöffnung für ein Gas versehenen Hohlraum dient. Die sich durch den unterschiedlichen Gasdruck des eingelassenen Gases ändernde Schwingfrequenz des Balkens wird als Meßsignal zur Bestimmung des Druckes herangezogen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, mit dem der innere Gasdruck eines verschlossenen Hohlraumes eines mikromechanischen Bauelementes bestimmt werden kann, bei dem dieser Hohlraum von einer

verformbaren Wand oder Membran begrenzt ist. Dieses Verfahren soll es ermöglichen, den Gasdruck im Inneren des Hohlraumes zu bestimmen, ohne daß das Bauelement beschädigt und damit unbrauchbar gemacht werden muß.

Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren macht man sich zunutze, daß bei der Herstellung mikromechanischer Bauelemente eine Mehrzahl solcher Bauelemente mit einem gemeinsamen Wafer denselben Verfahrensschritten unterworfen wird. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß alle Hohlräume der auf demselben Wafer hergestellten Bauelemente denselben Gasdruck aufweisen, da sie in demselben Verfahrensschritt unter demselben Gasdruck hergestellt worden sind. Es genügt daher, eines dieser Bauelemente zu untersuchen. Es muß nur sichergestellt sein, daß das Verfahren den in dem Hohlraum vorhandenen Gasdruck richtig erfaßt. Das geschieht dadurch, daß der Druck indirekt über die Resonanzfrequenzen der beweglichen Membran bei geschlossenem und geöffnetem Hohlraum festgestellt wird.

Es wird die Funktion der Resonanzfrequenz der Membran in Abhängigkeit vom äußeren Gasdruck bei einem verschlossenen Hohlraum gemessen. Diese Resonanzfrequenz ist dann am niedrigsten, wenn der äußere Gasdruck gleich dem Gasdruck im Hohlraum ist. Dann ist die Membran in der Ruhelage und nicht ausgelenkt. Es wird ein Hohlraum eines Bauelementes geöffnet, um die Resonanzfrequenzen der Membran in Ruhelage bei unterschiedlichen Gasdrücken, die aber jeweils über und unter der Membran gleich groß sind, zu bestimmen. Man erhält so eine Funktion der Resonanzfrequenz der unverformten Membran in Abhängigkeit von dem beiderseits herrschenden Gasdruck. Diese Funktion wird verglichen mit der für den geschlossenen Hohlraum gemessenen Funktion der Resonanzfrequenz.

Die Bestimmung des Minimums der Funktion der Resonanzfrequenz für die Membran über dem geschlossenen Hohlraum würde näherungsweise ausreichen, um den Gasdruck zu bestimmen. Bei der Herstellung der Bauelemente ist es aber in der Regel unvermeidlich, daß sich in der beweglichen Schicht innere Spannungen ausbilden, die bewirken, daß die Membran stärker vorgespannt ist und leicht nach innen oder nach außen gewölbt ist. Das Minimum der Resonanzfrequenz ergibt sich dann nicht genau bei demjenigen äußeren Druck, der dem Druck im Inneren des Hohlraumes gleich ist. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, das zum einen die Resonanzfrequenz der Membran eines geschlossenen Hohlraumes mißt und zum anderen die Resonanzfrequenz der Membran über einem geöffneten Hohlraum mißt, kann derjenige äußere Druck bestimmt werden, für den sich dieselbe Resonanzfrequenz ergibt. Dieser Schnittpunkt der beiden Funktionsgraphen liefert denjenigen Druck, der in dem geschlossenen Hohlraum vorhanden ist.

Um gleiche Meßbedingungen zu schaffen, darf die Membran des Bauelementes mit geöffnetem Hohlraum nicht beschädigt werden. Es wird daher der Hohlraum mit einer Öffnung außerhalb der Membran versehen. Das kann z. B. dadurch geschehen, daß der Hohlraum des zu testenden Bauelementes seitlich mit einem angesetzten Kanal versehen wird und eine Öffnung von der Oberseite des Bauelementes in diesen Kanal hinein ausgeätzt wird. Vorzugsweise werden zunächst alle Hohlräume auf demselben Wafer geschlossen hergestellt und nach der Bestimmung der Resonanzfrequenzen der Membran über einem ausgewählten geschlossenen Hohlraum dieser Hohlraum geöffnet und erneut die Resonanzfrequenzen an dieser Membran gemessen.

Es folgt eine genauere Beschreibung des erfindungsgemä-

ßen Verfahrens anhand der Fig. 1 bis 4:

Fig. 1 zeigt ein für das erfindungsgemäße Verfahren strukturiertes Bauelement im Querschnitt.

Fig. 2 zeigt die in Fig. 1 eingezeichnete Schnittansicht.

Fig. 3 zeigt die in Fig. 1 dargestellte Ansicht des Bauelementes nach dem Ätzen einer Öffnung.

Fig. 4 zeigt entsprechend Fig. 2 die in Fig. 3 eingezeichnete Schnittansicht.

In Fig. 1 ist ein Bauelement dargestellt, bei dem über einem Substrat 1 in einer darauf vorhandenen Schicht 11 ein Hohlraum 2 ausgebildet ist. Dieser Hohlraum 2 wird nach oben durch eine Membran 3 begrenzt. Die Membran ist z. B. zur Ausbildung eines Drucksensors vorgesehen und in gewissen Grenzen beweglich, d. h. kann nach oben oder unten ausgelenkt werden. Für eine kapazitive Bestimmung der Membranauslenkung ist die Membran elektrisch leitend, z. B. aus elektrisch leitend dotiertem Polysilizium hergestellt. Im Substrat 1 befinden sich in dem Beispiel dotierte Bereiche 4, 41 mit durch Kontaktlochfüllungen gebildeten vertikalen elektrisch leitenden Verbindungen 5, 51 als Anschlüsse. Entsprechende vertikale leitende Verbindungen 6 sind für den Anschluß der Membran vorhanden. Die in Fig. 1 eingezeichneten Schichten 11 und 12 können z. B. dielektrisches Material sein. Vorzugsweise wird z. B. Siliziumoxid oder ein anderes als Zwischenmetall dielektrikum verwendetes Material dort aufgebracht.

Das Bauelement, das in den Figuren dargestellt ist, besitzt zwei getrennte dotierte Bereiche 4, 41 im Substrat. Diese Bereiche sind mit getrennten elektrischen Anschlüssen 5, 51 versehen. Es sind daher zwei gegeneinander isolierte Elektroden im Substrat ausgebildet. Eine dieser Elektroden kann zur Anregung der Membranschwingung verwendet werden, während die andere Elektrode für die kapazitive Messung der Membranschwingung verwendet wird. Gegenüber einem Bauelement mit nur einer Elektrode im Substrat, die gleichzeitig für Anregung und Messung verwendet wird, ergibt sich bei der dargestellten Ausführung des Bauelementes ein deutlich geringeres Signalauschen.

Um das erfindungsgemäße Verfahren besonders einfach durchführen zu können, ist bei diesem speziell für die Bestimmung des Gasdruckes vorgesehenen Bauelement ein seitlicher Kanal 7 an den Hohlraum 2 angesetzt. Die Form dieses Kanales wird aus Fig. 2 ersichtlich, die die in Fig. 1 dargestellte Ansicht von oben auf das Bauelement zeigt. In diesem Beispiel ist der Hohlraum rechteckig, er kann aber grundsätzlich jede beliebige geometrische Form aufweisen. Die für die Messung vorgesehenen Komponenten, d. h. die dotierten Bereiche im Substrat und die elektrischen Anschlüsse, können in beliebiger Weise ausgestaltet sein. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Kanal 7 an einer Schmalseite des Hohlraumes 2 etwa in der Mitte angesetzt. Bei diesem Kanal kann es sich aber um eine beliebige seitliche Ausbuchtung des Hohlraumes handeln, die seitlich der beweglichen Membran oder des beweglichen Anteiles der die Membran bildenden Schicht vorhanden ist. Dieser Kanal oder diese seitliche Ausbuchtung oder Vergrößerung des Hohlraumes hat den Zweck, eine Möglichkeit zu schaffen, eine Öffnung von der Oberseite des Bauelementes in den Hohlraum hinein herzustellen, ohne daß die Membran selbst beschädigt werden muß. Eine Öffnung in der Membran würde nämlich das Schwingungsverhalten der Membran verändern. Der Hohlraum muß daher durch eine Öffnung außerhalb der Membran zugänglich gemacht werden können. Das geschieht bei diesem Ausführungsbeispiel dadurch, daß der Kanal 7 nach außen geöffnet wird.

Fig. 3 zeigt das beschriebene Bauelement, nachdem eine Öffnung 9 von oben durch die Schicht 12 und hier auch durch einen seitlichen Anteil der die Membran 3 bildenden

Schicht hindurch in den Kanal 7 geätzt wurde. Durch das Ausätzen der Öffnung 9 gelangt der äußere Luftdruck in den Hohlraum 2. In dem Hohlraum 2 und in der Aussparung 8 über der Membran, durch die der äußere Gasdruck von oben auf die Membran 3 gelangt, herrscht daher derselbe Gasdruck. Die Membran befindet sich in ihrer Ruhelage. Aufgrund einer möglicherweise vorhandenen Spannung in der Schicht der Membran 3 ist die Membran in der Ruhelage bereits geringfügig nach oben oder unten gewölbt. Das spielt für das erfindungsgemäße Verfahren keine nachteilige Rolle. Der äußere Luftdruck wird variiert, und dadurch wird auch der Luftdruck im Innern des geöffneten Hohlraums 2 variiert. Zu jedem Luftdruck wird die Resonanzfrequenz der Membran bestimmt. Dazu wird die Membran durch Anlegen geeigneter Wechselfspannungen an die Anschlüsse 6, 5 der Membran bzw. des einen dotierten Bereiches 4 durch variierte elektrostatische Kräfte zu Schwingungen angeregt. Die Resonanzfrequenz dieser Schwingung wird bestimmt, was vorzugsweise durch Messen der Kapazitätsänderungen zwischen der Membran 3 und dem anderen dotierten Bereich 41 über die zugehörigen Anschlüsse 6, 51 geschieht. Alternativ kann nur ein dotierter Bereich für die Anregung der Schwingung und die Messung verwendet werden.

Bei dem geöffneten Hohlraum ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz vom Druck näherungsweise eine Wurzelfunktion. Bei einer Membran über einem geschlossenen Hohlraum besitzt die Resonanzfrequenz ein Minimum bei einem bestimmten Druck. Die Resonanzfrequenz steigt also zunehmend an, wenn der Druck von diesem bestimmten Druck ausgehend kontinuierlich vermindert oder erhöht wird. Die beiden Funktionen schneiden sich in einem Punkt, dessen Abszissenwert den Druck angibt, der in dem geschlossenen Hohlraum herrscht.

Bei kleiner intrinsischer Spannung der Membran liefert die Messung der Resonanzfrequenz in Abhängigkeit des Druckes für einen geschlossenen Hohlraum eine näherungsweise quadratische Funktion mit der minimalen Resonanzfrequenz im Bereich des Innendruckes des Hohlraums. Ist der Hohlraum geöffnet, ist die Resonanzfrequenz im wesentlichen von der Luftkompression in dem Hohlraum, die als zusätzliche Federkonstante wirkt, abhängig. Daher steigt die Resonanzfrequenz mit zunehmendem Druck näherungsweise mit der Wurzel des Druckes an. Nur bei einem bestimmten Druck, nämlich dem Innendruck des geschlossenen Hohlraumes, können die Resonanzfrequenzen der Membranen über einem geschlossenen und einem offenen Hohlraum gleich sein. Der gesuchte Wert des Druckes ergibt sich daher als Abszissenwert des Schnittpunktes zweier Kurven, die näherungsweise eine Parabel und eine gespiegelte Parabel sind.

Für das erfindungsgemäße Verfahren ist letztlich neben-sächlich, wie die Öffnung in dem Hohlraum hergestellt wird. Die Öffnung kann bei einem der auf demselben Wafer hergestellten Bauelemente von vornherein angebracht werden. Vorzugsweise werden aber alle Bauelemente in den üblichen Verfahrensschritten zunächst gleichartig hergestellt, und dann wird nachträglich bei einem Bauelement, das für den Test vorgesehen ist, der Hohlraum durch Ätzen einer Öffnung geöffnet. Wesentlich ist, daß diese Öffnung in festem Material außerhalb der Membran hergestellt wird, um die Resonanzfrequenzen der Membran im Vergleich zu den übrigen Bauelementen nicht zu verändern. Der Hohlraum kann bei allen Bauelementen auf dem Wafer dieselben Abmessungen besitzen. Es kann ein Teil des Hohlraums jeweils seitlich der Membran im Bereich festen umgebenden Materials vorhanden sein. Es ist aber auch möglich, nur ein Bauelement z. B. am Rand des Wafers, ggf. mit weiteren Teststrukturen, für das erfindungsgemäße Verfahren vorzusehen

und mit einer dafür besonders geeigneten Abmessung des Hohlraumes zu versehen. Es genügt also, wenn z. B. das in den Figuren dargestellte Bauelement mit kanalartigem Fortsatz des Hohlraumes nur einmal am Rand des Wafers hergestellt wird.

Es wird vorzugsweise dasselbe Bauelement für die Messung der Resonanzfrequenzen der Membran bei geschlossenem und bei offenem Hohlraum verwendet. Die Messung wird dann zunächst an einem Bauelement mit geschlossenem Hohlraum durchgeführt. Dann wird der Hohlraum geöffnet, und die Messung wird an diesem Bauelement erneut durchgeführt. Statt dessen können auch zwei verschiedene Bauelemente, eines mit geschlossenem Hohlraum und eines mit geöffnetem Hohlraum, für die Messung verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich auch, um die Dichtigkeit mikromechanischer Strukturen, d. h. die Gasdurchlässigkeit z. B. der Membran festzustellen. Zu diesem Zweck wird das Verfahren zum Bestimmen des Gasdruckes zweimal oder mehrmals in Zeitabständen durchgeführt, um festzustellen, ob sich der Gasdruck im Innern der verschlossenen Hohlräume im Laufe der Zeit ändert.

Es wird zunächst die näherungsweise quadratische Abhängigkeit der Resonanzfrequenz vom Druck für ein Bauelement mit geschlossenem Hohlraum bestimmt. Dann wird das Bauelement einem wesentlich niedrigeren oder höheren Druck als dem Innendruck des Hohlraumes ausgesetzt. Das Bauelement kann z. B. in ein Vakuum gebracht werden. Der große Druckunterschied zwischen dem Hohlraum und der Umgebung bewirkt, daß bei mangelnder Dichtigkeit der Membran oder des übrigen den Hohlraum umgebenden Materials sich der Druck im Innern des Hohlraumes vergleichsweise schnell ändert (hier: abnimmt). Nach einer gewissen Zeit wird erneut die Resonanzfrequenz der Membran in Abhängigkeit von verschiedenen äußeren Drücken festgestellt. Das Verfahren kann ggf. wiederholt werden. Wenn Gas aus dem Hohlraum durch die Membran oder seitliches Halbleitermaterial oder dielektrisches Material entwichen ist, ist die über dem Druck aufgetragene Kurve der Resonanzfrequenz gegenüber der entsprechenden Kurve aus der ersten Messung verschoben.

Eine derartige Verschiebung der Kurve der Resonanzfrequenz muß nicht allein aus einer Änderung des Druckes im Hohlraum resultieren, sondern kann auch andere Gründe haben. Daher wird vorzugsweise der Gasdruck in dem Hohlraum bestimmt, indem der Hohlraum geöffnet und die Funktion der Resonanzfrequenz in Abhängigkeit vom Druck für den geöffneten Hohlraum gemessen und erfindungsgemäß ausgewertet wird. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird mit einem weiteren Bauelement, das nicht dem stark erhöhten oder erniedrigten äußeren Druck ausgesetzt wird und das zunächst mit geschlossenem Hohlraum und dann mit geöffnetem Hohlraum gemessen wird, der Gasdruck im Innern des Hohlraumes eines unbelasteten Bauelementes festgestellt. Ein Vergleich der Messungen ergibt dann zuverlässig, ob eine Druckänderung in dem Hohlraum bei dem ersten Bauelement eingetreten ist oder nicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat mehrere Vorteile. Der Innendruck verschlossener mikromechanischer Strukturen wird bestimmbar, und zwar auf relativ einfache Weise. Dichtigkeitsuntersuchungen sind sowohl für einzelne Materialien als auch an fertig hergestellten Bauelementstrukturen durchführbar. Das Verfahren zur Innendruckbestimmung als auch das Verfahren zur Dichtigkeitsuntersuchung haben eine sehr hohe Genauigkeit, so daß kleinste Druckunterschiede und Leckagen ermittelt werden können. Das Verfahren bietet eine einfache Möglichkeit zur Funktionsanalyse nach der Herstellung mikromechanischer Strukturen zur

Prozeßkontrolle. Der Nachweis eines Membrandefektes ist mit dem beschriebenen Verfahren möglich, indem nur elektrische Messungen vorgenommen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Gasdruckes in einem von einer verformbaren Membran (3) verschlossenen Hohlraum (2) eines Halbleiterbauelementes, bei dem mindestens zwei Bauelemente mit Hohlräumen und gleichartigen verformbaren Membranen, die einen jeweiligen Hohlraum begrenzen, hergestellt werden, bei dem die Hohlräume unter gleichem vorherrschendem Gasdruck verschlossen werden, bei dem einer der Hohlräume mit einer Öffnung (9) außerhalb der verformbaren Membran versehen wird, bei dem ein äußerer Gasdruck bestimmt wird, bei dem eine zugehörige Resonanzfrequenz der Membran eines verschlossenen Hohlraumes und eine zugehörige Resonanzfrequenz der Membran des mit der Öffnung versehenen Hohlraumes übereinstimmen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zunächst die Resonanzfrequenzen der Membran eines verschlossenen Hohlraumes gemessen werden, bei dem dieser Hohlraum durch Ätzen einer Öffnung (9) außerhalb der verformbaren Membran (3) geöffnet wird und bei dem die Resonanzfrequenzen der Membran des geöffneten Hohlraumes gemessen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ein Hohlraum, der wieder geöffnet werden soll, mit einem kanalartigen Fortsatz (7) seitlich der verformbaren Membran (3) hergestellt wird und bei dem die Öffnung (9) zu diesem kanalartigen Fortsatz hin hergestellt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem eine Mehrzahl von gleichartigen Bauelementen mit einem Hohlraum auf einem gemeinsamen Wafer hergestellt wird, bei dem eines dieser Bauelemente mit einem Hohlraum mit einer Öffnung hergestellt wird und bei dem dieses Bauelement zur Bestimmung des gleichen Gasdruckes in den Hohlräumen der übrigen Bauelemente verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem eine Resonanzfrequenz als Funktion eines äußeren Gasdruckes für die Membran eines verschlossenen Hohlraumes und für die Membran des mit einer Öffnung versehenen Hohlraumes in einem vorgegebenen Bereich des äußeren Gasdruckes bestimmt wird und bei dem der Druck bestimmt wird, bei dem die Werte der Funktionen und damit die Resonanzfrequenzen gleich sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Membran zumindest teilweise elektrisch leitend hergestellt wird, bei dem auf der von der Membran abgewandten Seite des Hohlraumes elektrisch leitende Bereiche (4, 41) als Gegenelektroden hergestellt werden, bei dem die Membran und diese Gegenelektroden mit elektrischen Anschlüssen (6, 5, 51) versehen werden und

bei dem für eine elektrische Anregung einer Membranschwingung und für eine kapazitive Messung dieser Schwingung verschiedene dieser Gegenelektroden ver-

wendet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, zur
Feststellung der Dichtigkeit von Material, das einen
von einer verformbaren Membran verschlossenen
Hohlraum eines Bauelementes umgibt, bei dem die 5
Verfahrensschritte zum Bestimmen des Gasdruckes in
einem verschlossenen Hohlraum ausgeführt werden,
bevor und nachdem ein Bauelement mit einem ver-
schlossenem Hohlraum einem äußeren Gasdruck aus-
gesetzt wird bzw. wurde, der wesentlich niedriger oder 10
wesentlich höher ist als der in dem Hohlraum des Bau-
elements anfangs vorhandene Gasdruck.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

